

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ МЕТОДОМ ОТНЕСЕННОГО ЛЕВОГО ПОВОРОТА

В. В. Морозов

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

IMPROVING THE EFFICIENCY OF TRAFFIC ORGANIZATION BY THE METHOD OF THE OFFSET LEFT TURN

Viacheslav V. Morozov

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. Объектом исследования определен процесс движения транспортных потоков в городах, а предметом – данный процесс применительно к регулируемым уличным пересечениям. Исследование направлено на повышение эффективности организации дорожного движения в части предотвращения формирования транспортных заторов на улично-дорожной сети городов. Для решения данной задачи предложено устройство отнесенного левого поворота. В ходе исследования рассмотрена улично-дорожная сеть г. Тюмени, установлены проблемные участки, где возможно осуществить устройство отнесенного левого поворота. В качестве наиболее подходящего уличного пересечения проанализировано регулируемое пересечение ул. 50 лет ВЛКСМ и ул. Геологоразведчиков. Результаты исследования показали, что применение отнесенного левого поворота позволит существенно сократить транспортные задержки и снизить риск аварийности за счет сокращения конфликтных точек. Оценка эффективности предлагаемых решений также подтвердила, что они имеют позитивный технологический, социальный, экономический и экологический эффекты.

Abstract. The object of the study is the process of traffic flow in cities, and the subject is this process in relation to regulated street intersections. The main goal of the study is improving the efficiency of traffic organization by preventing the formation of traffic congestion on the street and road network. To achieve this, the creation of an offset left turn was proposed. During the study, the street and road network of Tyumen was considered, and areas for possible construction of the offset left turn were identified. The regulated intersection of 50 Let VLKSM St. and Geologorazvedchikov St. was chosen as the most appropriate. The results of the study showed that the use of the offset left turn would significantly reduce traffic delays and accident risk by reducing conflict points. The evaluation of the effectiveness of proposed solutions also confirmed the positive technological, social, economic and environmental effects.

Ключевые слова: транспортные потоки, регулируемые пересечения, отнесенный левый поворот, транспортные заторы, аварийность

Key words: traffic flows, regulated intersections, offset left turn, traffic congestion, accident rate

Для цитирования: Морозов, В. В. Повышение эффективности организации дорожного движения методом отнесенного левого поворота / В. В. Морозов. – DOI 10.31660/2782-232X-2023-3-72-80. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2023. – № 3 (105). – С. 72–80.

For citation: Morozov, V. V. Improving the efficiency of traffic organization by the method of the offset left turn. Architecture, Construction, Transport, (3(105)), pp. 72-80. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2023-3-72-80.

Введение

Несмотря на наблюдаемую положительную динамику снижения аварийности, в Российской Федерации остается актуальной проблема безопасности дорожного движения [1–3]. Поэтому для управления движением транспортных и пешеходных потоков применяется светофорное регулирование, направленное на разделение транспортных средств и пешеходов во времени [3, 4].

Однако наличие регулируемых пересечений на улично-дорожной сети является фактором, ограничивающим пропускную способность [3–7]. Как следствие, происходит образование транспортных заторов, что неизбежно влечет за собой увеличение потерь времени при перемещении, повышение расхода топлива, увеличение выбросов вредных веществ и рост социального дискомфорта [3–9]. В конечном итоге город становится менее привлекательным для жизни. В связи с этим предотвращение формирования транспортных заторов на улично-дорожной сети городов является нерешенной проблемой и серьезным вызовом для инженерных и научных сообществ.

Объект и методы исследования

Объектом исследования является процесс движения транспортных потоков в городах, а предметом – данный процесс применительно к регулируемым уличным пересечениям.

Методологической базой исследования служит системный подход [3, 8, 10]. С учетом положений данного подхода исследуемый процесс

рассматривался на системном уровне. Частными инструментами системного подхода, применяемыми в исследовании, являлись системный анализ и синтез.

Исходя из специфики рассматриваемого процесса, работа проводилась на основании фундаментальных положений теорий транспортных потоков [3, 6] и планирования эксперимента [3, 8].

Результаты

В данной работе под отнесенным левым поворотом понимается способ организации движения транспортных потоков на регулируемых пересечениях, при котором вводится дополнительная отделенная полоса движения с правой стороны проезжей части для более безопасного выполнения левоповоротного маневра. Повышение уровня безопасности достигается за счет того, что транспортные средства, которые планировали осуществить поворот налево, движутся в нужном им направлении уже по второстепенной улице в прямом направлении. При этом левый поворот по главной улице запрещается, следовательно, увеличивается и пропускная способность пересечения [11]. В настоящее время данный подход уже используется для решения проблем организации дорожного движения в ряде городов Российской Федерации (рис. 1).

Анализируя опыт применения отнесенного левого поворота, можно заметить, что данный способ организации движения транспортных потоков используется в основном на т-образных пе-

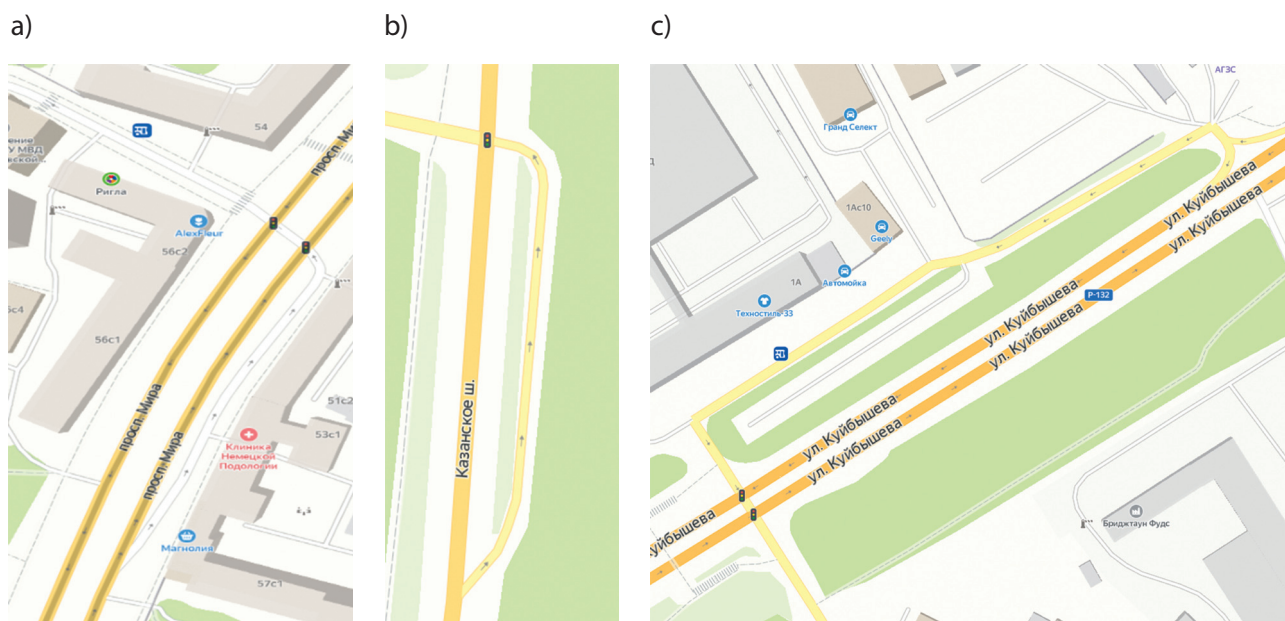


Рис. 1. Примеры отнесенных левых поворотов в городах РФ [12]: а) проспект Мира – Орлово-Давыдовский переулок, г. Москва; б) Казанское шоссе, поворот в сторону общежития НГТУ им. Р. Е. Алексеева, г. Нижний Новгород; в) ул. Куйбышева – ул. Веризинская, г. Владимир

Fig. 1. Examples of the offset left turns in Russian cities [12]: а) Prospekt Mira – Orlovo-Davydovsky Lane, Moscow; б) Kazanskoe highway, turning towards the dormitory of NNSTU named after R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod; в) Kuibysheva St. – Verizinskaya St., Vladimir

рекрестках [11, 12]. Это обусловлено тем, что для его обустройства требуется дополнительное свободное пространство для введения отделенной полосы, которое нужно производить без грубого нарушения целостности и чрезмерного усложнения существующего уличного пересечения.

Таким образом, определение регулируемого уличного пересечения г. Тюмени, где возможно устройство отнесенного левого поворота, проводилось с учетом:

- наличия свободного пространства для размещения дополнительной полосы;
- целесообразности размещения отнесенного левого поворота.

По результатам анализа улично-дорожной сети города был сформирован перечень регулируемых пересечений, наиболее подходящих для обустройства отнесенного левого поворота (таблица 1).

Применение отнесенного левого поворота решено исследовать на регулируемом пересечении ул. 50 лет ВЛКСМ и ул. Геологоразведчиков.

Также для чистоты эксперимента были введены следующие ограничения [3]: исследование реализовывалось в условиях ясной видимости, при отсутствии осадков, наледи, на сухом дорожном покрытии.

Сбор исходных данных производился путем натурного мониторинга в утренний, дневной и вечерний часы пик в рабочие дни недели, поскольку в это время совершается большая часть всех деловых поездок, которые являются наиболее проблематичными. Для каждого обозначенного периода часа пик произведены измерения величин интенсивности движения транспортных потоков и длины транспортной очереди. Количество измерений для каждого часа пик составило 36 шт. Далее исходные данные интенсивности движения приводились к эквивалентному часовому значению с учетом коэффициентов приведения. Значения длины транспортной очереди приводились к среднему значению. Результаты сбора исходных данных представлены в таблице 2.

Таблица 1

Table 1

*Регулируемые уличные пересечения г. Тюмени
с возможностью устройства отнесенного левого поворота
Regulated street intersections in Tyumen with the possibility to make an offset left turn*

Наименование регулируемого пересечения	Целесообразность/нецелесообразность применения отнесенного левого поворота
ул. Алебашевская – ул. Газовиков	В случае устройства дополнительной полосы для отнесенного левого поворота транспортный поток будет выполнять перестроение через действующую полосу для движения маршрутных транспортных средств, что может оказать негативное влияние на транспорт общего пользования
ул. Дружбы – ул. Ветеранов труда	Устройство дополнительной полосы будет осуществляться в непосредственной близости от автобусной остановки, что может помешать выезду маршрутных транспортных средств и осложнить работу транспорта общего пользования. Обустройство дополнительной полосы повлечет за собой перекрытие одного из заездов на прилегающую территорию. Строительство дополнительной полосы будет происходить на территории, которая, скорее всего, находится в частной собственности, что потребует длительных и дорогостоящих процедур по выкупу необходимых земель
ул. 50 лет ВЛКСМ – ул. Тульская	Действующая полоса для левоповоротного маневра обустроена как локальное расширение, которое не имеет продолжения после пересечения со второстепенной улицей
ул. 50 лет ВЛКСМ – ул. Геологоразведчиков	Существенных затруднений для обустройства нет, введение отнесенного левого поворота в целом целесообразно

Таблица 2

Table 2

*Результаты сбора исходных данных
Results of baseline data gathering*

Период времени	Ул. 50 лет ВЛКСМ								Ул. Геологоразведчиков			
	со стороны ул. Пермькова				со стороны ул. Тульской							
	Интенсивность, прив. ед./ч		Среднее значение длины транспортной очереди, прив. ед.		Интенсивность, прив. ед./ч		Среднее значение длины транспортной очереди, прив. ед.		Интенсивность, прив. ед./ч		Среднее значение длины транспортной очереди, прив. ед.	
	Прямо	Направо	Полоса 1	Полоса 2	Прямо	Налево	Полоса 1	Полоса 2	Направо	Налево	Полоса 1	Полоса 2
с 07 ч 30 мин до 08 ч 30 мин	1 347	97	5	5	959	85	1	1	211	67	1	1
с 12 ч 30 мин до 13 ч 30 мин	882	64	2	2	1 055	121	1	1	204	63	1	1
с 18 ч 00 мин до 19 ч 00 мин	788	89	2	2	1 111	140	2	2	132	54	1	1

$Q_{j,вх}$ – интенсивность транспортного потока j -го направления движения на входе регулируемого пересечения, привед. ед./ч;

M_{Hij} – поток насыщения в i -й фазе j -го направления движения транспортных средств, привед. ед./ч.

Таким образом, технологический эффект предлагаемых решений заключается в сокращении суммарного значения средней транспортной задержки всех транспортных средств, проезжающих через регулируемое пересечение:

$$\Delta T_3 = T_{31} - T_{32}, \quad (2)$$

где ΔT_3 – технологический эффект от сокращения суммарной средней задержки движения транспортных средств, полученный в результате применения отнесенного левого поворота, с;

T_{31} – суммарная средняя задержка движения транспортных средств на регулируемом пересечении при действующей схеме организации дорожного движения и действующем светофорном цикле, с;

T_{32} – суммарная средняя задержка движения транспортных средств после применения отнесенного левого поворота и корректировки светофорного цикла, с.

Сравнительный анализ численных значений задержки при существующей ситуации и предлагаемых изменениях представлен в таблице 3.

Благодаря сокращению суммарной средней задержки может достигаться экономический эффект. В свою очередь, он будет заключаться в сокращении расхода топлива на холостом режиме работы двигателя вследствие простоя при проезде через регулируемое пересечение. При средней стоимости топлива 50 руб./л экономия топлива в денежном эквиваленте будет составлять приблизительно 665, 923 и 994 руб. в течение утреннего, дневного и вечернего часов пик соответственно.

При этом социальный эффект от принятых мер может заключаться в снижении риска дорожно-транспортных происшествий, что будет достигаться посредством сокращения конфликтных точек за счет ликвидации левого поворота по главной дороге и перенаправления левоповоротного потока на второстепенную улицу в прямом направлении.

Экологический эффект может достигаться за счет сокращения выбросов вредных веществ CO, CH, NO_x и SO₂. Расчет значений выполнялся в соответствии с ГОСТ Р 56162-2019².

Таблица 3
Table 3

Сравнительный анализ действующей и предлагаемой схемы организации дорожного движения
Comparative analysis of the current and proposed traffic scheme

Период времени	Суммарная средняя задержка T_3 при действующей схеме, с	Суммарная средняя задержка T_3 с отнесенным левым поворотом, с	Абсолютное отклонение ΔT_3 , с	Относительное отклонение, %
с 07 ч 30 мин до 08 ч 30 мин	108 163	60 416	47 747	44
с 12 ч 30 мин до 13 ч 30 мин	107 261	40 996	66 265	61
с 18 ч 00 мин до 19 ч 00 мин	100 998	29 623	71 375	70

² ГОСТ Р 56162-2019. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу потоками автотранспортных средств на автомобильных дорогах разной категории = Emissions of polluting substances into the atmosphere. Method for calculating the amount of pollutant emissions generated by motor vehicle flows on roads of various categories : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 сентября 2019 г. № 694-ст : взамен ГОСТ Р 56162-2014 : дата введения 2020-01-01 / разработан АО «НИИ Атмосфера». – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/1200167788> (дата обращения: 01.07.2023).

По результатам расчетов, суммарное сокращение выбросов вредных веществ составит примерно 0.22, 0.3 и 0.32 кг для утреннего, дневного и вечернего часов пик соответственно.

Обсуждение

Предотвращение образования транспортных заторов в городах – одна из самых актуальных и нерешенных задач современной науки и техники. Вместе с этим, не менее важно повышение безопасности дорожного движения. Одним из способов решения обеих задач может стать применение отнесенного левого поворота. Как показали результаты исследования, привлекательность данного подхода состоит в том, что при незначительной реконструкции участка улично-дорожной сети могут быть не только сокращены временные потери при перемещении, но и уменьшен риск аварийности.

Тем не менее, необходимо также отметить, что данный подход имеет ограниченное применение. Обустройство дополнительной полосы для отнесенного левого поворота возможно только при соблюдении ряда условий. Как показало исследование, данные условия в полном объеме могут выполняться только на уличных пересечениях т-образного типа. При этом далеко не на всех т-образных перекрестках целесообразно введение отнесенного левого поворота.

В качестве примера была рассмотрена возможность применения отнесенного левого поворота на перекрестке ул. 50 лет ВЛКСМ и ул. Геологоразведчиков. Безусловно, данный перекресток является далеко не самым проблемным в г. Тюмени как в части формирования транспортных заторов, так и с точки зрения аварийности. Данное регулируемое пересечение было выбрано скорее по остаточному принципу, так как в г. Тюмени не так много т-образных перекрестков со свободной и незастроенной территорией для введения дополнительной полосы. Однако даже в этом случае применение отнесенного левого поворота может принести позитивный технологический, экономический, социальный и экологический эффекты.

Но необходимо понимать, что обозначенные выше эффекты могут быть достигнуты только при соблюдении ряда ограничений: ясная видимость, отсутствие осадков, наледи и сухое дорожное покрытие. Предполагается, что в противном случае применение отнесенного левого поворота также принесет позитивные эффекты, но их численные значения могут отличаться от тех, что были получены.

Выводы

В ходе исследования установлено, что одним из способов предотвращения формирования транспортных заторов на улично-дорожной сети может являться отнесенный левый поворот, который активно применяется в ряде городов Российской Федерации. По результатам анализа выявлены условия, определяющие возможность его применения.

В целях изучения возможности применения данного способа в г. Тюмени проанализирована улично-дорожная сеть и отобран перечень регулируемых пересечений для обустройства отнесенного левого поворота. В качестве наиболее подходящего уличного пересечения определен перекресток ул. 50 лет ВЛКСМ и ул. Геологоразведчиков.

На обозначенном уличном пересечении произведен сбор исходных данных интенсивности движения транспортных потоков и транспортной очереди. Разработана схема организации дорожного движения с применением отнесенного левого поворота. Проектирование светофорного цикла регулирования для новой схемы осуществлялось по методике Фрэнка Вебстера.

Как показала аналитическая оценка, применение результатов исследования позволит сократить суммарное среднее время задержки всех транспортных средств, проезжающих через регулируемое пересечение, на 44–70 % в зависимости от времени часа пик. В свою очередь это позволит уменьшить расход топлива автомобилей на холостом режиме работы (от 665 до 994 руб.) и сократить суммарный выброс вредных веществ (от 0.22 до 0.32 кг).

Благодарности. Исследование выполнено в рамках НИОКРТ «Повышение эффективности работы транспортной инфраструктуры нефтегазового комплекса (Рег. № 123062900114-1, 26.06.2023-31.12.2024)» за счет гранта Некоммерческой организации «Благотворительный фонд «ЛУКОЙЛ» для молодых преподавателей.

Acknowledgements. The research was carried out within the framework of the R&D "Improving the efficiency of the transport infrastructure of the oil and gas complex (Reg. No. 123062900114-1, 06/26/2023-12/31/2024)" at the expense of a grant from the non-profit organization "LUKOIL" Charity Fund for Young Teachers.

Библиографический список

1. Федеральная служба государственной статистики : сайт. – URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 22.07.2023). – Текст : электронный.
2. Матигорова, О. С. Вопросы переустройства съездов развязок с позиции обеспечения безопасности движения / О. С. Матигорова, Р. В. Андронов. – DOI 10.31660/2782-232X-2023-1-67-77. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2023. – № 1 (103). – С. 67–77.
3. Морозов, В. В. Закономерности изменения характеристик транспортных потоков в городах : монография / В. В. Морозов, Д. А. Захаров, С. А. Ярков. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2020. – 165 с. – Текст : непосредственный.
4. Транспортные задержки с учетом геометрических особенностей перекрестков городских улиц / С. А. Ярков, С. А. Эртман, В. В. Морозов, Г. Н. Морозов. – Текст : непосредственный // Транспорт и машиностроение Западной Сибири. – 2019. – № 1. – С. 52–58.
5. Branston, D. Some factors affecting the capacity of signalized intersection / D. Branston. – Текст : непосредственный // Traffic Engineering and Control. – 1979. – Vol. 20, No 8–9. – P. 390–396.
6. Gerlough, D. L. Traffic Flow Theory: a Monograph / D. L. Gerlough, J. H. Huber. – Washington, DC : Transportation Research Board National Research Council, 1975. – 233 p. – Текст : непосредственный.
7. Webster, F.V. Traffic Signals / F.V. Webster, B. M. Cobbe // Road Research Technical Paper. No 56. – London : H.M.S.O., 1966. – 111 p. – Текст : непосредственный.
8. Захаров, Н. С. Закономерности формирования количества легковых автомобилей на улично-дорожной сети города / Н. С. Захаров, Е. Ф. Бояркина. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2011. – 160 с. – Текст : непосредственный.
9. Пространственные и временные показатели концентрации транспортного потока в задачах управления дорожным движением / В. В. Морозов, Д. В. Бобров, С. В. Подлесных, С. В. Смолин. – Текст : непосредственный // Организация и безопасность дорожного движения : материалы XI международной научно-практической конференции: в 2-х томах, Тюмень, 15 марта 2018 года. Том 1. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2018. – С. 333–335.
10. Игнатьев, В. А. Сбалансированность транспортного обслуживания населения городов: основные подходы / В. А. Игнатьев, А. И. Петров. – DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-64-78. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2023. – № 2 (104). – С. 64–78.
11. Исследования условий движения на пересечении ул. Маяковского и ул. Аранской при устройстве многофункционального комплекса «Червенский» в г. Минске / Д. В. Капский, Д. В. Мозалевский, В. Н. Кузьменко [и др.]. – Текст : непосредственный // Автомобильный транспорт Дальнего Востока. – 2014. – № 1. – С. 187–199.
12. Яндекс Карты – транспорт, навигация, поиск мест : сайт. – URL: <http://yandex.ru/maps> (дата обращения: 22.07.2023). – Текст : электронный.

References

1. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. (In Russian). Available at: <https://rosstat.gov.ru/> (accessed 22.07.2023).
2. Matigorova, O. S., & Andronov, R. V. (2023). Issues of rearrangement of road interchange exits for the traffic safety. *Architecture, Construction, Transport*, (1(103)), pp. 67-77. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2023-1-67-77.
3. Morozov, V. V., Zakharov, D. A., & Iarkov, S. A. (2020). *Zakonomernosti izmeneniya kharakteristik transportnykh potokov v gorodakh*. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., 165 p. (In Russian).
4. Iarkov, S. A., Ertman, S. A., Morozov, V. V., & Morozov, G. N. (2019). Transport delays taking into account the geometric features of city street intersections. *Transport i mashinostroenie Zapadnoy Sibiri*, (1), pp. 52-58. (In Russian).
5. Branston, D. (1979). Some factors affecting the capacity of signalized intersection. *Traffic Engineering and Control*, 20(8-9), pp. 390-396. (In English).
6. Gerlough, D. L., & Huber, J. H. (1975). *Traffic Flow Theory: a Monograph*. Washington, DC, Publ. Transportation Research Board National Research Council, 233 p. (In English).
7. Webster, F. V., & Cobbe, B. M. (1966). *Traffic Signals*. Road Research Technical Paper. No 56. London, Publ. H.M.S.O., 111 p. (In English).
8. Zakharov, N. S., & Boyarkina, E. F. (2011). *Zakonomernosti formirovaniya kolichestva legkovykh avtomobiley na ulichno-dorozhnoy seti goroda*. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., 160 p. (In Russian).
9. Morozov, V. V., Bobrov, D. V., Podlesnykh, S. V., & Smolin, S. V. (2018). *Prostranstvennye i vremennye pokazateli kontsentratsii transportnogo potoka v zadachakh upravleniya dorozhnym dvizheniem. Organizatsiya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya: materialy XI mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Tyumen, March, 15. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., 1, pp. 333-335. (In Russian).
10. Ignatyugin, V. A., & Petrov, A. I. (2023). Balance of transport services for the population of cities: basic approaches. *Architecture, Construction, Transport*, (2(104)), pp. 64-78. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2023-2-64-78.
11. Kapskiy, D. V., Mozalevskiy, D. V., Kuz'menko, V. N., Polkhovskaya A. S., Ermakova, N. V., & Artyushevskaya, N. V. (2014). *Issledovaniya usloviy dvizheniya na peresechenii ul. Mayakovskogo i ul. Aranskoy pri ustroystve mnogofunktsional'nogo kompleksa "Chervenskiy" v g. Minske*. *Avtomobil'nyy transport Dal'nego Vostoka*, (1), pp. 187-199. (In Russian).
12. Yandex Karty – transport, navigatsiya, poisk mest. (In Russian). Available at: <http://yandex.ru/maps> (accessed 22.07.2023).

Сведения об авторе

Морозов Вячеслав Валерьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры транспортных и технологических систем, Тюменский индустриальный университет, e-mail: morozov1990_72@mail.ru, ORCID 0000-0001-6840-1247

Information about the author

Viacheslav V. Morozov, Candidate in Engineering, Associate Professor at the Department of Transport and Technological Systems, Industrial University of Tyumen, e-mail: morozov1990_72@mail.ru, ORCID 0000-0001-6840-1247

Получена 13 июля 2023 г., одобрена 28 июля 2023 г., принята к публикации 28 сентября 2023 г.

Received 13 July 2023, Approved 28 July 2023, Accepted for publication 28 September 2023